

繊維架橋力に着目したメゾスケール解析手法の高精度化

名古屋大学大学院 学生会員 ○杉本 勝哉
名古屋大学大学院 正会員 国枝 稔, 中村 光, 上田 尚史

1 はじめに

超高強度ひずみ硬化型セメント系材料(以下, UHP-SHCC)は, 引張応力下においてひずみ硬化挙動を示し, 圧縮, 曲げ, 引張破壊時の靱性を大幅に向上させた材料である. 既往の研究により, 繊維とマトリクス間の界面の付着特性が明らかとなり, 3次元メゾスケール解析における, ひび割れ間の繊維による伝達力(以下, 架橋力)の算定手法が提案されたが, 繊維上に複数のひび割れが発生した場合の力学性能については明らかとされておらず, この手法においては考慮されていない. そこで本研究では, 2箇所ではひび割れが生じたUHP-SHCCについて, 架橋力の挙動に着目し, 実験と解析の両側面から検討を行った.

2 複数ひび割れが架橋力に与える影響

2.1 実験概要

本研究で用いたUHP-SHCCの配合は, $W/B=0.22$ とし, 繊維は, 長さ6mmの高強度ポリエチレン繊維(直径0.012mm)を用い, 体積比で1.5%混入した. 実験で用いた供試体諸元を図-1に示す. 供試体寸法は, $50 \times 13 \times 150$ mmとし, 供試体中央部に長さ10mmの切欠きを導入した. また, 図-1(b), 図-1(c)に示す供試体には, 中央から6mmと12mm離れた位置にも切欠きを導入することで, ひび割れを2箇所に誘発させるようにした. 切欠きの間隔については繊維長が6mmであることから, 繊維上に発生するひび割れ本数を変化させることを目的としている. 変位制御にて引張荷重を与える一軸引張試験を行い, 荷重と切欠き開口変位をそれぞれ計測した.

2.2 実験結果

一軸引張試験より得られた架橋応力-切欠き開口変位関係を図-2に示す. なお, 架橋応力はひび割れ発生後に応力が最大となった点とする. 図-2より, 切欠きの間隔が6mmの供試体については, その他の供試体(切欠き1組: 7.43MPa, 切欠き間隔12mm: 7.78MPa)に比べ, 架橋力の平均値が低い値(5.72MPa)を示すことが明らかとなった. このように架橋応力が低下したのは, 2本のひび割れが跨った繊維の引抜け挙動が卓越したためと考えられる.

3 架橋力の低下を考慮した数値解析モデルの開発

3.1 概要

実験結果より, 繊維上に2本のひび割れが生じた場合, 架橋力が低下することが明らかとなった. しかし, より詳細なメカニズムについては, 6mmより小さい間隔で切欠きを導入することが, 技術的に困難であることから, 実験的には明らかとされていない. そこで本研究では, 便宜的に繊維上に複数のひび割れが生じた時, その繊維が持つ架橋応力が0MPaとなるモデル化を行い, UHP-SHCCの引張破壊について解

キーワード 超高強度ひずみ硬化型セメント 繊維架橋力

連絡先 〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町 工学部9号館526号室 TEL052-789-4484

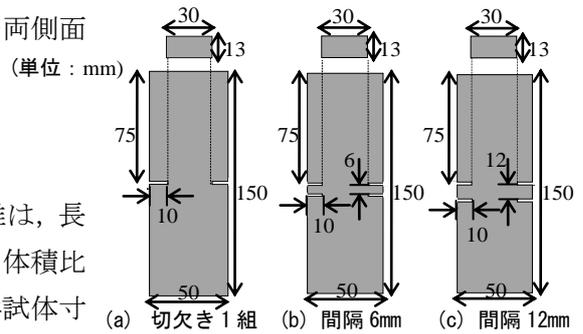


図-1 供試体諸元

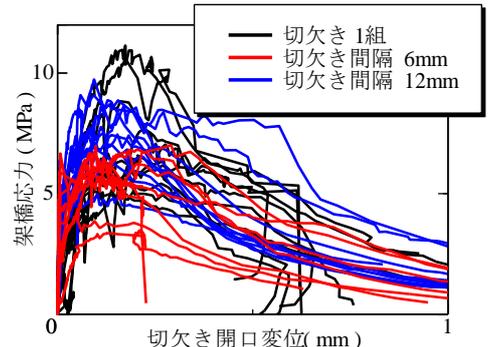


図-2 架橋応力-切欠き開口変位関係

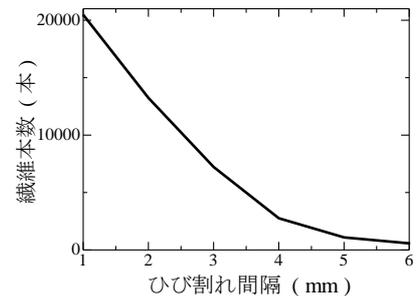


図-3 各ひび割れ間隔における繊維本数

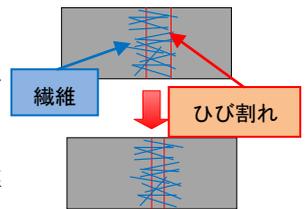


図-4 繊維の架橋状況

析的に検討を行った。図-3 に 2 本のひび割れが跨がる繊維の本数とひび割れ間隔の関係を示す。これは図-4 に示すように、ひび割れの間隔が変化することにより、2 本のひび割れが跨がる繊維の本数が変化することを表している。図-3 より、ひび割れ間隔が狭くなるほど、2 本のひび割れが跨がる繊維の本数が多いことが分かり、架橋力が 0 となる繊維が増えることで、見かけの架橋力が低下していくものと推察される。

3.2 解析概要

ひび割れの発生および進展を直接的に表現できる構造解析手法として、3 次元 RBSM を用いた。詳細は文献 1 を参照いただきたい。特徴としては解析対象となる要素中に所定の混入率となるように繊維を離散化してモデル化している点にある。解析モデルを図-5 に示す。どの供試体も断面が 13mm×30mm、長さが 150mm である。中央の要素の幅は実験供試体の切欠き間隔に対応しており 12mm、6mm、2mm としている。中央の要素の幅が 2mm のモデルについては、切欠き間隔 6mm の供試体中に、図-6 に示すように、複数の微細なひび割れが生じているものがあり、これらのひび割れの間隔がおおよそ 2mm 程度であったことから比較対象として作成したものである。繊維は実験と同様に長さ 6mm、直径 0.012mm の PE 繊維を体積比で 1.5% 混入し、マトリクス中にランダムに分散させてモデル化した。境界条件は供試体両端の要素を完全固定とし、水平方向に強制変位を与えた。

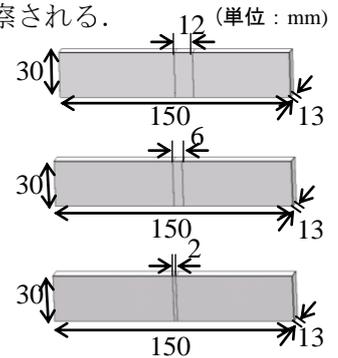


図-5 解析モデル

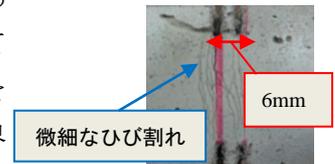


図-6 実験供試体中の微細なひび割れ

3.3 解析結果

図-7 に解析により得られた架橋応力-切欠き開口変位関係を示す。どの解析モデルも通常の付着応力-すべり関係を用いたモデルの解析では、約 5MPa でマトリクスに 2 本目のひび割れが発生した後、架橋応力がおおよそ 10MPa 程度まで上昇していることが分かる。架橋力を 0 にするモデルの解析では、図-7 (a) より、ひび割れ間隔が 12mm の供試体については、通常の付着応力-すべり関係を用いたモデルと比べて変化がなかった。これは繊維長が 6mm であり、ひび割れを 2 本跨ぐ繊維がほとんど存在していないためである。また、図-7 (b) より、ひび割れ間隔が 6mm の供試体については、通常の付着応力-すべり関係を用いたモデルの解析結果に比べ、架橋力がわずかに低下した。しかし、実験結果の架橋力の低下と比べると、その差は非常に小さいことが分かる。ひび割れ間隔が 2mm の供試体については、図-7 (c) に示すように、さらに架橋力の低下が顕著になっており、おおよそ 6MPa 程度まで架橋力が低下している。このことから、切欠きの間隔 6mm の供試体については、2mm 程度の間隔で発生した複数の微細なひび割れの影響で、架橋力が低下したものと考えられる。以上のことから、繊維上に複数のひび割れが発生する時、その繊維の持つ架橋応力を低下させることで、実験で確認できた架橋力の低下を再現できるということが明らかとなった。

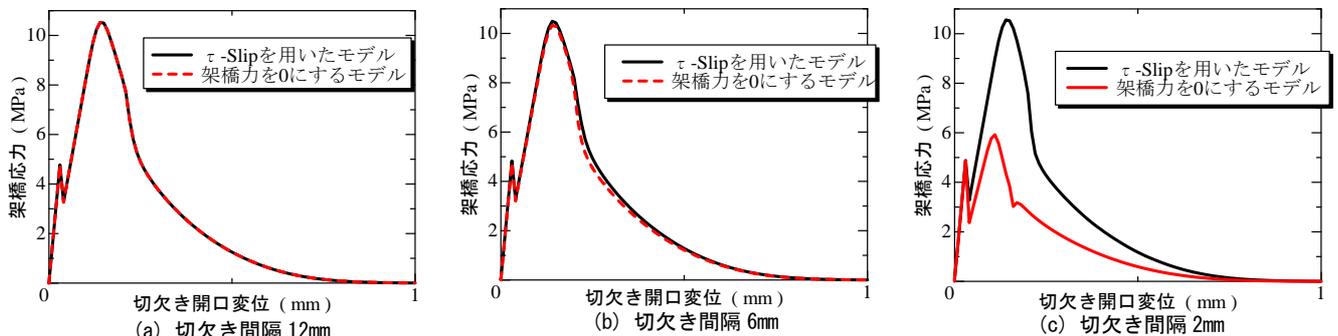


図-7 架橋応力-切欠き開口変位関係

4 結論

本研究では、実験により、ひび割れの間隔が繊維長以下であれば、架橋力が低下することが明らかとなった。また、UHP-SHCC の一軸引張試験の解析を行った結果、複数のひび割れが跨った繊維の架橋力を低下（本研究では 0）させる数値解析モデルを用いることで、架橋力の低下を定性的に表現できることが示唆された。

参考文献 ¹⁾国枝稔, 小澤国大, 小倉大季, 上田尚史, 中村光: 短繊維を離散化した 3 次元メゾスケール解析手法によるひずみ硬化が他モルタルの引張破壊解析, 土木学会論文集 E, Vol.66(2010), No.2, PP.193~206